



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE MADRID
FACULTAD DE CIENCIAS

El conocimiento de las poblaciones del pasado a través de los restos óseos:

Estudio preliminar de estimación del peso corporal a partir de Resonancias Magnéticas de cadera y reconstrucción del Índice de Masa Corporal en poblaciones arqueológicas

**PROYECTO FIN DE CARRERA
BIOLOGÍA EVOLUTIVA Y DIVERSIDAD**

**Laura Pérez Pachón
Madrid, septiembre 2011**



*LABORATORIO
DE POBLACIONES
DEL PASADO*



ÍNDICE

1.	RESUMEN.....	2
2.	INTRODUCCIÓN.....	2
	2.1. Cálculo del perfil de Índice de Masa Corporal (IMC) de una población arqueológica.....	3
	2.2. Estimación biomecánica del peso corporal (PC).....	4
	2.3. Estimación de la estatura a partir de los huesos largos.....	7
	2.4. Determinación del sexo a partir del ángulo oblicuo del fémur (α).....	8
	2.5. Uso de las técnicas de imagen en el análisis antropométrico.....	9
3.	OBJETIVOS.....	11
4.	MATERIAL Y MÉTODOS.....	11
	4.1. Estudio clínico.....	11
	4.2. Estudio osteoarqueológico.....	14
5.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	16
	5.1. Estudio clínico - Aplicación de las Imágenes de Resonancia Magnética (IRM) a la estimación biomecánica del PC.....	16
	5.2. Estudio osteoarqueológico - Reconstrucción del perfil de IMC de una población arqueológica.....	22
6.	CONCLUSIONES Y PERSPECTIVAS FUTURAS.....	27
7.	BIBLIOGRAFÍA.....	27

1. Resumen

En este estudio se emplean dos muestras clínicas de distinto origen geográfico (finlandesa y española) con el objetivo de aplicar las resonancias magnéticas a la estimación del *peso corporal* a partir de la anchura de la cabeza del fémur. Se comparan los resultados obtenidos con los de estudios previos, y se valora la posibilidad de mejorar dichas estimaciones. Las ecuaciones de regresión generadas para la población española, se utilizan en la reconstrucción del perfil de Índice de Masa Corporal de una población arqueológica de origen peninsular. Los resultados muestran que las imágenes de resonancia magnética son una herramienta útil en la reconstrucción del peso corporal, proporcionando estimaciones más precisas en nuestra muestra. Asimismo, la estandarización del peso corporal para el tejido adiposo mejora las estimaciones. El perfil de Índice de Masa Corporal reconstruido para la población arqueológica se ve afectado por la tendencia al sobrepeso de la muestra clínica española. En cuanto a la determinación del sexo a partir del ángulo oblicuo del fémur, no hemos encontrado diferencias significativas entre sexos.

2. Introducción

La Paleoantropología y Osteoarqueología son ramas de la Antropología física que pretenden reconstruir la forma de vida de las poblaciones del pasado mediante la interpretación de las evidencias que han permanecido en el tiempo. Tras numerosos estudios dedicados a extraer información a partir de los restos óseos, es posible recrear indirectamente multitud de características fisiológicas, ecológicas o de comportamiento, que no dejan más marcas que las que podemos encontrar grabadas en los huesos. Los primeros pasos del análisis osteológico van encaminados a la creación de una base de información sobre la que realizar posteriores estudios. De este modo, tras la exhumación de los restos óseos humanos de un yacimiento se procede al análisis paleodemográfico, determinando el Número Mínimo de Individuos (NMI) para la caracterización individual de los mismos. La determinación del sexo y la edad, la estimación de la estatura y la observación de los caracteres de interés, constituyen esta base y permiten llegar a conclusiones acerca de la composición de poblaciones de la antigüedad, su estado de salud y patrones de actividad.

Aún existen, sin embargo, numerosas limitaciones para desentrañar el conjunto de características abiertamente implicadas en la biología de las poblaciones humanas. En

este sentido, el peso corporal (PC) es una variable importante para entender los patrones de salud y enfermedad, y debe formar parte del estudio antropológico. La mejora en las estimaciones del PC gracias al uso de las nuevas técnicas de imagen representa una oportunidad para llevar a cabo este tipo de estudios. En este trabajo, comprobamos si es posible aplicar las imágenes de resonancia magnética (IRM) a la estimación del PC a partir de las dimensiones de la cabeza femoral, y utilizamos las nuevas fórmulas generadas sobre nuestra muestra española para reconstruir el PC de una población arqueológica de origen peninsular, así como calcular su perfil poblacional de Índice de Masa Corporal (IMC).

2.1. Cálculo del perfil de IMC de una población arqueológica

El IMC, o Índice de Quetelet, es un indicador simple de la relación entre el PC y la estatura que se utiliza frecuentemente para identificar el sobrepeso y la obesidad en adultos. Se calcula dividiendo el peso de una persona en kilos por el cuadrado de su talla en metros (kg/m^2). Según la clasificación de la Organización Mundial de la Salud (OMS) (OMS, 2011), existen las categorías de bajopeso ($\text{IMC} < 18,5$), normopeso ($18,5-24,9$), sobrepeso ($25 - 29,9$) y obesidad ($\text{IMC} > 29,9$). Es frecuentemente usado en poblaciones contemporáneas, a diferencia de lo que ocurre en poblaciones arqueológicas, en las que las dos dimensiones necesarias son desconocidas. Este indicador proporciona información sobre una parte de la fisiología y anatomía del individuo, y permite estudiar los patrones de salud y enfermedad, el estatus nutricional, y los cambios temporales y geográficos. El cálculo del IMC en poblaciones arqueológicas permitiría analizar tales características, e inferir nueva información sobre el comportamiento, la salud y la ecología de las poblaciones del pasado. Además, sería posible comparar con los estudios de IMC llevados a cabo en poblaciones vivas. Sin embargo, el cálculo de esta variable a partir de restos óseos y la reconstrucción de su correspondiente perfil poblacional, presenta notables dificultades metodológicas relacionadas con la estimación de sus dos componentes: el PC y la estatura.

La diversidad de metodologías de estimación va en aumento, pero la precisión de las mismas está condicionada, fundamentalmente, por la preservación de los huesos y la representatividad de la muestra requerida en el trabajo científico. Existe una gran dificultad a la hora de estimar los datos reales de PC y estatura asociados a restos esqueléticos de una muestra grande y representativa. Por otro lado, la desviación en la

muestra se deberá parcialmente al error en las estimaciones, realizadas a partir de un elemento esquelético para extrapolarlas a una característica corporal general (Ruff et al., 1991), incluidos los tejidos no preservados. En lo referente al PC, el error en las estimaciones sigue siendo una barrera para la reconstrucción del IMC y el alcance de toda la información derivada del mismo. Por el contrario, la estimación de la estatura se emplea incluso como herramienta discriminante en la identificación humana, en el ámbito de las ciencias forenses.

2.2. *Estimación biomecánica del PC*

La importancia de las estimaciones del PC recae sobre el hecho de que la talla corporal está directamente relacionada con los elementos de soporte del peso (Ruff et al., 1991). Esto permite estudiar los efectos de las cargas mecánicas sobre los componentes esqueléticos, y comparar la talla corporal relativa entre poblaciones diferentes a partir de una única variable, el PC (Ruff et al., 2000). De esta forma, existe un interés creciente en el desarrollo de métodos nuevos y más precisos para la estimación del mismo. Una gran parte de la bibliografía dedicada a este campo de la anatomía funcional, proviene de las investigaciones dirigidas por el Dr. Christopher Ruff, de la Escuela de Medicina de la Universidad de Johns Hopkins.

Las estimaciones matemáticas del PC se realizan teniendo en cuenta variables independientes, como la anchura de la cabeza del fémur (ACF) (Ruff et al., 1991; McHenry, 1992; Grine et al., 1995; Auerbach et al., 2004) o las características de la sección transversal de la diáfisis (Ruff, 2003), en ecuaciones que reflejan la relación lineal entre la variable esquelética y el PC (Ruff et al., 1997; Ruff et al., 2005). La precisión de las estimaciones se aprecia en la fuerza de la correlación entre la variable dependiente e independiente y el error estándar de estimación (EES), y varía en función de qué parte del esqueleto es representada y su preservación.

En la actualidad contamos con dos métodos de estimación del PC a partir de los restos óseos: el *morfométrico* y el *biomecánico*. El primero consiste en el establecimiento de relaciones alométricas entre distintas medidas del esqueleto, siendo la altura y la anchura bi-iliaca los más comúnmente usados (Auerbach et al., 2004). El inconveniente que presenta es que obvia la influencia de la robustez del esqueleto, no representada a partir de su metodología, y la adiposidad del individuo, que varía en función de su edad,

fisiología y comportamiento. El método biomecánico se rige por las respuestas de las superficies articulares (SA) y las diáfisis de los huesos largos frente a la carga mecánica (Auerbach et al., 2004). La carga mecánica afecta más a las extremidades inferiores que a las superiores, por lo que es en ellas en lo que se basan la mayor parte de las estimaciones. La posibilidad de determinar las propiedades biomecánicas de los miembros inferiores a partir de distintas medidas esqueléticas es de vital importancia para la estimación del PC. Los resultados del estudio comparativo de Auerbach et al. (2004) muestran una fuerte correspondencia entre las estimaciones del PC realizadas a partir de la ACF (método biomecánico) y aquellas desarrolladas a partir de la reconstrucción de la estatura y la anchura bi-ilíaca (método morfométrico) en una muestra grande de humanos pertenecientes al Holoceno. Estos resultados corroboran aquellos obtenidos en Ruff et al. (1997), o en Ruff et al. (2005), estos últimos sobre una muestra de Inupiat (Alaska) y finlandeses, ambas poblaciones adaptadas a un clima frío.

2.2.1. *Problemas metodológicos.* El método biomecánico, empleado en este trabajo, implica un solapamiento del PC con los niveles de actividad; estos últimos influyen en las características del hueso en proporción variable con el PC. Ante tal confrontación, el uso de múltiples métodos de estimación es recomendable para aumentar la precisión de las estimaciones (Ruff et al., 1997; Auerbach et al., 2004). Aún así, se ha observado en ovejas que los niveles de actividad no afectan significativamente a la ACF (Lieberman et al., 2001). Igualmente, la talla corporal de la población de referencia empleada para la reconstrucción del PC, tiene efecto sobre los resultados de las estimaciones (Ruff, 2000). En el estudio comparativo de Auerbach et al. (2004), se comprueba que las fórmulas desarrolladas por McHenry (1992) a partir de una muestra de hombres y mujeres americanos, pigmeos africanos y khoisan, resultó más apropiada para individuos de pequeña talla, mientras que las estimaciones realizadas a partir de las ecuaciones de Grine et al. (1995), que usó una muestra compuesta por individuos subsaharianos y afroamericanos, se ajustaban mejor a individuos de talla grande.

2.2.2. *Relación entre las características del fémur y el PC.* La estimación del PC a partir de las dimensiones de la cabeza del fémur ha de ser enfocada desde el contexto de la biomecánica. Los cambios que se dan en el esqueleto atienden a las adaptaciones del tejido óseo a su ambiente mecánico (Ruff et al., 2006), por lo que las SA se hallan en

consonancia con las fuerzas mecánicas a las que han de hacer frente a lo largo de la vida. La cabeza del fémur es una SA con un importante papel en el soporte del cuerpo y la transmisión de fuerzas durante la marcha (Ruff et al., 2005), por lo que es de esperar que se correlacione con el PC, como se ha demostrado en estudios previos (Ruff et al., 1991). En efecto, las diversas investigaciones sobre la estimación del PC indican que la ACF predice satisfactoriamente el PC en personas adultas (Ruff et al., 1991). En términos metodológicos, la cabeza del fémur presenta ventajas relativas a su conservación en las poblaciones arqueológicas y restos fósiles. Además, ha sido incluida en estudios anteriores generando distintas fórmulas de regresión (Ruff et al., 1991; McHenry, 1992; Grine et al., 1995).

Las SA se forman durante el crecimiento por modelación y remodelación (Pearson et al., 2004), pero en los adultos este proceso se da únicamente en la reparación de microfracturas, mientras que las dimensiones externas quedan fijas (Ruff, 1994; Lieberman et al., 2001), exceptuando algunas condiciones patológicas. En cambio, las diáfisis muestran una fuerte respuesta ante la carga mecánica. Especialmente en la etapa adulta, estas sufren cambios mediante alteraciones en la geometría del hueso cortical, mientras que las articulaciones sólo se ven remodeladas por cambios en la densidad del hueso trabecular o su arquitectura (Ruff et al., 1991). Por tanto, las diáfisis son un buen reflejo del estrés mecánico generado por el PC y la actividad muscular a lo largo de la vida. Así, en adultos maduros y seniles, las mejores correlaciones de las dimensiones externas del fémur proximal con el PC vienen dadas por el área cortical de la diáfisis del fémur. Por el contrario, el PC registrado a la temprana edad de 18 años se correlaciona mejor con las dimensiones de la cabeza del fémur (Ruff et al., 1991). Debido a la fijación de las dimensiones de la cabeza del fémur al alcanzar la madurez ósea, pero los cambios en el PC durante el resto de la vida adulta, en especial por acumulación de tejido adiposo (Janssen et al., 2000) y los efectos de la actividad física, es lógico encontrar una disociación en las correlaciones entre el PC y las dimensiones articulares en edades avanzadas. Como ya se ha mencionado en párrafos anteriores, el uso de diversos métodos de estimación es recomendable para controlar los efectos de la actividad física o el aumento del PC a lo largo de la vida.

2.2.3. *Estimación del PC estandarizado para el tejido adiposo.* El tejido adiposo es uno de los principales responsables del aumento de PC a lo largo de la vida (Hughes et

al., 2002). A pesar de ello, existe información limitada acerca de las implicaciones de este en las reconstrucciones del PC a partir de los elementos óseos. En este estudio, formulamos la hipótesis de que las estimaciones del PC ajustadas para el tejido graso serán más fiables en la reconstrucción del peso corporal total (PCT), ya que eliminarán de las ecuaciones la influencia de la dinámica de acumulación del mismo. Mediante la información proporcionada por las IRM, llevamos a cabo una comparación entre los modelos de regresión convencionales y un nuevo modelo que incluye dicho parámetro.

2.3. *Estimación de la estatura a partir de los huesos largos*

Desde las ciencias forenses, el énfasis puesto en la estimación de la estatura ha sido mayor que aquel depositado en la estimación del PC, debido a que la estatura sufre menor variación a lo largo de la vida en comparación con las fluctuaciones que puede experimentar este último (Ruff et al., 1991). La mejora de los criterios de identificación (Trotter et al., 1952), el estudio de la salud, el dimorfismo sexual, o las tendencias de la talla corporal (Ruff, 2000) entre las poblaciones del pasado, son campos explorados a partir de estudios que incluyen estimaciones de la estatura.

Etienne Rollet (1888; citado en Trotter et al., 1952) fue uno de los pioneros en reconstruir la estatura corporal a partir de restos esqueléticos a finales del siglo XIX. Sus estudios revelaron ligeras diferencias entre las estimaciones realizadas en el hueso fresco y el hueso seco, y fueron sucedidos por las investigaciones de Manouvrier y Pearson (1893 y 1899, respectivamente; citados en Trotter et al., 1952), quienes aplicaron distintos métodos de estimación a partir de los huesos largos. Stevenson (1929) comenzó a destacar la necesidad de emplear fórmulas de regresión específicas para cada población. La conservación de los huesos en los restos arqueológicos es diferencial y normalmente deficiente, por lo que también contamos con estudios que recogen estimaciones a partir de huesos largos parcialmente conservados (Steele, 1970). Las investigaciones han demostrado que las estimaciones más precisas son aquellas llevadas a cabo a partir del esqueleto postcraneal. Los huesos largos de las extremidades inferiores, concretamente el fémur y la tibia, han proporcionado las mejores correlaciones con la estatura (Trotter et al., 1952, 1958).

Los métodos de estimación actuales son el *anatómico* y el *matemático*. El método anatómico se basa en la reconstrucción de la estatura mediante la suma de todas las

medidas de una serie de huesos contigua desde el cráneo al pie. Su desarrollo se atribuye principalmente a Fully (1956), y es para algunos autores el método más preciso (Lundy, 1985). Existe una limitación esencial para el mismo, y es la mala conservación del material arqueológico, normalmente fragmentado. Cuando no se dispone de restos óseos en condiciones de preservación ideales, se recurre al método matemático, que consiste en el cálculo de ecuaciones de regresión que relacionan la estatura y las dimensiones de los elementos esqueléticos del individuo. Las ventajas e inconvenientes de su uso han sido descritas en estudios anteriores (Lundy, 1985). En función de la presencia o ausencia de los componentes esqueléticos se recomienda el uso de uno u otro. En este trabajo empleamos el método matemático utilizando la longitud fisiológica del fémur, o longitud bicondilar (LB).

2.3.1. *Problemas metodológicos.* Las diferencias en las proporciones corporales requieren un ajuste en las constantes (Trotter et al., 1952), ya que esta cambia de forma sistemática a través de las poblaciones humanas (Ruff, 1994). Esto ha impulsado la creación de fórmulas específicas a partir de poblaciones geográficamente separadas. Las variaciones corporales a través de las generaciones dentro de una misma población, proceso conocido en Antropología Física como “cambio secular”, generan un error en las estimaciones debido al aumento generacional de la talla reflejado en un mismo yacimiento. Además, estudios previos han demostrado que existe una correlación negativa entre la edad y la estatura (Trotter et al., 1952), por lo que se recomienda incluir un factor de corrección para controlar el efecto de la edad. El método matemático presenta otros inconvenientes; genera mayor dispersión del error absoluto ya que algunos individuos muestran proporciones corporales inusuales. Al realizar este tipo de estimaciones es de interés considerar la presencia de variables alométricas, que han sido descritas mediante el ajuste que muestra la pendiente de las rectas de regresión generadas a partir de la longitud de la tibia (Trotter et al., 1952). Las diferencias entre la estatura en vida y después de la muerte, o entre el hueso seco y el hueso fresco, así como la media de la longitud de los huesos con o sin cartílago, agravan estos problemas.

2.4. *Determinación del sexo a partir del ángulo oblicuo del fémur*

El uso de restos óseos fragmentados implica enfrentarse a los problemas derivados de la preservación. La determinación del sexo y la edad de los individuos no siempre son posibles debido a la pérdida de elementos clave para la misma. Dada la necesidad de

contar con tamaños de muestra representativos de la población a la que pertenecen, así como realizar estimaciones de PC y estatura precisas y específicas para cada sexo, se ha explorado la posibilidad de determinar el sexo de nuestra muestra arqueológica a partir del ángulo oblicuo de la diáfisis del fémur (α). El ángulo oblicuo o bicondilar muestra la remodelación angular del hueso (Tardieu et al., 1997). Se mide en función del plano infracondilar una vez fusionada la epífisis distal. Esto no provoca una desviación importante con respecto al plano fiseal (placa de crecimiento de la diáfisis), que se mantiene horizontal a medida que aumenta α , ya que el desarrollo del cóndilo medial no es muy pronunciado, al contrario que en otros primates (Gualdi-Russo, 1998).

2.5. *Uso de las técnicas de imagen en el análisis antropométrico*

La mayor parte de las estimaciones del PC se basan en la información obtenida a partir de colecciones anatómicas y muestras arqueológicas (Ruff et al., 2005, entre otros), por lo que presentan serias limitaciones. En el contexto de estas fuentes de material, no siempre disponemos de todos los huesos, o los huesos completos para su estudio. Generalmente, la preservación es pobre o incompleta, conservándose mejor determinados huesos como los de manos y pies, por lo que no es sorprendente que se hayan propuesto métodos indirectos de estimación del PC a partir de estos elementos óseos (De Groote et al., 2011).

FIGURA 1: Corte coronal de IRM potenciada en T1 realizada en el Hospital Universitario de Oulu (Finlandia).

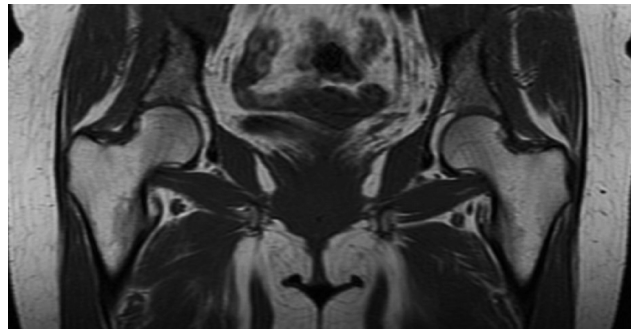


FIGURA 2: Corte axial de IRM potenciada en T1 realizada en el Hospital La Paz (Madrid).



El número de estudios que emplean individuos vivos y métodos radiográficos, principalmente rayos X (Ruff et al., 1991; Geraghty et al., 2003) es bastante limitado. Actualmente, contamos con una amplia gama en creciente desarrollo de técnicas de

imagen y maquinaria propia del ámbito médico, que aporta valiosa información a partir de muestras bien documentadas de casos clínicos procedentes de población viva y distintas localizaciones geográficas. Esto plantea la posibilidad de determinar la relación existente entre variables esqueléticas y el PC, abriendo paso a una posterior aplicación sobre los restos óseos sin preservación de tejidos blandos. Dicho proceso nos permitiría desarrollar fórmulas para estimar de modo más preciso el PC, usando poblaciones de referencia adecuadas a las características de la muestra arqueológica bajo estudio, y al mismo tiempo partir de amplios rangos de edad y un tamaño de muestra representativo.

La resonancia magnética (RM) (Figuras 1 y 2) es una técnica usada frecuentemente en medicina. Su utilización en el análisis antropométrico aporta una ventaja concreta que otras no presentan, y es la opción de desarrollar metodologías para la toma de medidas del tejido blando. Esto facilita el avance en las investigaciones, ya que da acceso a una gran cantidad de información que hasta ahora ha permanecido al margen de los estudios antropológicos. En este trabajo valoramos la influencia del tejido adiposo en las estimaciones del PC.

Las limitaciones de este tipo de material vienen determinadas precisamente por las causas que conducen al análisis clínico. Los individuos de los que proceden los datos, normalmente de edad avanzada, suelen sufrir diversos tipos de patologías que podrían afectar tanto a la variable estimada como a la variable independiente, provocando desviaciones en los resultados. Dichas patologías son apreciables en las IRM. Aquellas que conciernen a la metodología de estimación del PC a partir de la ACF, son las que provocan la remodelación del tejido óseo de la SA del fémur proximal. Entre ellas, podemos destacar la *artrosis*, que implica la aparición de osteofitos y quistes subcondrales que alteran la imagen, migración de la cabeza femoral rotando el ángulo de giro (y el plano sobre el que se toman las medidas), estrechamiento del espacio articular y necrosis avascular. La *artritis reumatoide*, además de compartir con la anterior efectos como el estrechamiento del espacio articular o fenómenos de necrosis, provoca deformidad por protrusión que puede alterar las dimensiones de la cabeza del fémur, y erosión de esta sin localización específica. Por último, la *osteo-necrosis post-traumática* está relacionada con complicaciones a causa de fracturas y luxaciones de cadera. Las fracturas de cuello de fémur han de ser desestimadas dada su asociación a esta patología, así como las displasias de cadera (Stoller et al., 2004). El PC también

puede verse afectado por patologías crónicas o extendidas en el tiempo, así como por el efecto de los fármacos aplicados durante el periodo de tratamiento. Por consiguiente, la edad y los procesos de enfermedad han de ser tomados en cuenta en estas investigaciones. En este estudio hemos de prestar especial atención al tratamiento con quimioterapia (QT), el cual puede influir sobre el PC en fases avanzadas del mismo.

3. Objetivos

Estudio clínico:

- Comprobar, mediante un estudio preliminar, si es posible aplicar las IRM de cadera a la estimación del PC a partir de la ACF.
- Desarrollar una metodología para la el uso de dicha técnica en la estimación del PC en base a las dimensiones de la cabeza femoral.
- Estudiar la posibilidad de mejorar las estimaciones a partir del material clínico disponible mediante la estandarización del PC para el tejido adiposo.

Estudio osteoarqueológico:

- Calcular el IMC de la población arqueológica de San Nicolás mediante la estimación del PC y la estatura.
- Determinar el sexo de los individuos de dicha población a partir de α .

4. Material y métodos

Las muestras empleadas en este estudio son de naturaleza clínica y arqueológica, habiéndose trabajado sobre ellas en tres fases temporales.

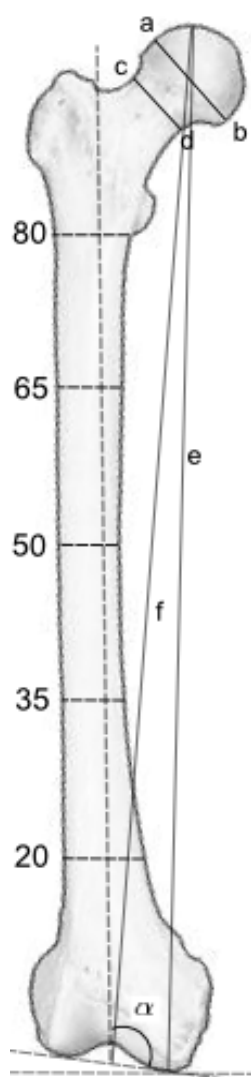
4.1. Estudio clínico

4.1.1. Características de la muestra y selección de pacientes. La toma de datos comenzó el mes de agosto de 2010, en el área de Radiología del Hospital Universitario de Oulu (Finlandia). Durante este mes se procedió a la toma de medidas a partir de IRM procedentes de población finlandesa (65° 1' N). Para ello, se recurrió al archivo de imágenes digitales de RM de cadera obtenidas entre el 1 de septiembre de 2009 y el 30 de agosto de 2010. La indicación más frecuente del informe médico era la presencia de dolor inespecífico de cadera. Fueron seleccionados 75 casos sucesivos (36 hombres y 39 mujeres) con edades comprendidas entre los 18 y 73 años.

La segunda fase transcurrió durante los meses de marzo y abril de 2011. La toma de datos se llevó a cabo en el área de Radiología Osteo-articular del Hospital Universitario La Paz (Madrid), accediendo así a una muestra compuesta por población española (40° 24' N). Se recurrió a los informes médicos de los pacientes para los que se habían obtenido RM de cadera y/o extremidades inferiores en los años 2009-2011. Las IRM abdominales y pélvicas fueron descartadas del estudio cuando los cortes no llegaban a los trocánteres femorales. Se recogió el dato de PC, así como la talla cuando esta estaba presente. La enfermedad más comúnmente asociada a los pacientes era algún tipo de proceso oncológico. Se tuvieron en cuenta sólo aquellos pacientes en fases tempranas de quimioterapia (QT) (Ciclo I), en las que no existe relación con la reducción inminente del PC. Igualmente, se atendió a la medicación de cada paciente con el propósito de evaluar los posibles efectos sobre el PC. Se obtuvieron 62 casos sucesivos (24 hombres y 38 mujeres) de edades comprendidas entre los 23 y 83 años.

Con el fin de salvaguardar la privacidad de los datos de carácter personal de los pacientes, se firmó un acuerdo de confidencialidad en cumplimiento de la Ley Orgánica 15/1999, requerido en el caso de personas ajenas a la institución. Los pacientes firmaron su consentimiento para someterse a la prueba de RM. Los valores de PC pudieron ser extraídos gracias a que se procedió a pesar a los mismos antes de la realización de la prueba. Tanto en la muestra finlandesa como en la española (a partir de ahora muestras A y B, respectivamente), fueron identificados mediante un código numérico. Aquellos pacientes con enfermedades neoplásicas o traumas afectando a la región de la cadera fueron excluidos del estudio. En ningún caso se seleccionaron pacientes con enfermedades afectando directamente al PC, como obesidad o anorexia.

4.1.2. *Técnica de imagen.* En los análisis de RM se siguió el procedimiento estándar de cada hospital. En el Hospital Universitario de Oulu se utilizó una unidad 1.5T (Signa, General Electric, Milwaukee, WI). Para el análisis se tomaron cortes coronales de imágenes potenciadas en T1 (tiempo de repetición (TR)/tiempo de eco (TE), 520/12 msec; matriz de imagen, 384 x 192; campo de visión, 38 x 38 cm) y cortes transversales en imágenes potenciadas en T2 con saturación grasa (TR/TE, 5100/69 msec; matriz de imagen, 448 x 224; campo de visión, 38 x 28 cm) de la cadera derecha. El grosor de corte era de 4 mm con 0.5 mm de espacio de separación entre ellos. Las medidas fueron tomadas en una estación clínica (neaView Radiology version 2.21, Neagen, Finland).



¹(a-b), Anchura supero-inferior de la cabeza del fémur; (c-d), anchura mínima del cuello; e, longitud máxima; f, longitud bicondilar; α , ángulo oblicuo de la diáfisis; 80-65-50-35-20, niveles para la medición de la anchura antero-posterior y medio-lateral de la diáfisis.

FIGURA 3: Medidas tomadas sobre el fémur en el material clínico y arqueológico (Modificada de Gilroy et al., 2008)¹.

El análisis de RM en el Hospital Universitario La Paz se realizó mediante la utilización de dos equipos de RM de alto campo (1.5T), uno Signa de General Electric y otro Vision de Siemens Medical Systems, con antenas de cuerpo col-M. Se colocaron los pacientes en decúbito supino, con las piernas extendidas y unidas las puntas de los pies con una cinta, para condicionar leve rotación interna de ambos miembros inferiores y una orientación estándar de las regiones trocántreas femorales. Se realizaron secuencias de RM empezando con un localizador y, posteriormente, cortes transversales en imágenes potenciadas en T1 y T2 con saturación grasa, y cortes coronales de imágenes potenciadas en T1, con los mismos parámetros técnicos que en el Hospital Universitario de Oulu. Se añadieron cortes coronales TurboSTIR (TR/TE, 4600/30 msec.; tiempo de inversión, 130-150 msec.; matriz de imagen, 384x192; campo de visión FOV, 38x38 cm; 2NEX, grosor de corte 4mm y espacio entre cortes 0,5 mm), para descartar patología metastásica dado el origen oncológico de la mayoría de los pacientes. Las medidas de las imágenes se realizaron en una estación clínica de almacenamiento de imágenes (PACS) de General Electric, desde la Sección de Radiología Osteoarticular.

4.1.3. Toma de medidas: La ACF se midió según las recomendaciones de Martin & Saller (1957) (Figura 3). El grosor del panículo adiposo abdominal (GP), fue medido sobre el plano transversal de la pelvis (Figura 2), a la altura inmediatamente inferior a la sutura de la cabeza del fémur. Para la muestra A, la inclinación del plano coronal fue determinada antes de la toma de medidas de cada individuo en el fémur derecho, de modo que el hueso quedaba orientado en el plano sagital. En la muestra B, se extrajeron las medidas de ambos laterales, midiéndose la cadera normal cuando existía algún tipo de patología en uno de los mismos.

4.1.4. Análisis de los datos. Los valores extremos para el PC fueron eliminados de la muestra A. La muestra B se compone de pacientes con normopeso y sobrepeso. Los últimos se introdujeron en el estudio dado el reducido número de individuos. Se obtuvo el coeficiente de correlación de Pearson para analizar la relación lineal entre las variables. También se generaron fórmulas de regresión para la estimación del PC a partir de la ACF. El uso de valores logarítmicos en las estimaciones no supone una mejora de las mismas, por lo que estos no se utilizan. Para analizar en qué medida el error viene determinado por la dinámica inherente al PC, se observó la correlación de los residuos no tipificados con la variable dependiente. Las variables predictoras y los residuos de las estimaciones tienen distribución normal en ambas muestras. Los análisis se hicieron para cada sexo por separado. Los datos se presentan como grupos de medias \pm 1DE, y valores mínimos y máximos. Los programas estadísticos utilizados fueron SPSS Statistics 18.0 y Microsoft Excel 2007. Se empleó el EES para comparar los resultados de las estimaciones.

4.2. *Estudio osteoarqueológico*

4.2.1. Características de la muestra. La tercera fase abarcó los meses de marzo a junio de 2011. Se trabajó sobre la población arqueológica de San Nicolás (Murcia, s. XI a XIII), depositada en el Laboratorio de Poblaciones del Pasado de la UAM. El estudio realizado por Robles et al. (1996), revela altas tasas de prevalencia de hipoplasia del esmalte y cribra orbitalia, lesiones óseas muy relacionadas con la anemia ferropénica.

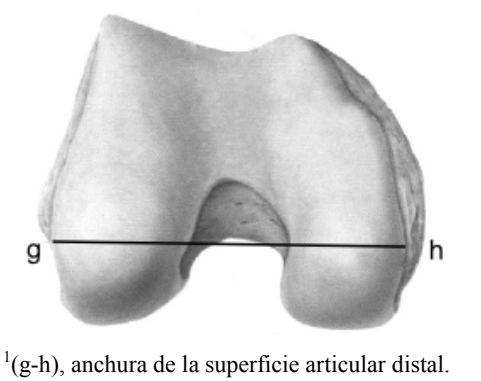
4.2.2. Toma de medidas. Se utilizaron los fémures derecho e izquierdo de aquellos individuos en los que ambos laterales estaban presentes. En caso contrario, se medía sólo el lateral conservado. Este proceso estuvo sometido en gran parte a las condiciones de preservación. Las medidas usadas en el estudio se hallan representadas en las Figuras 3 y 4. Para la estimación biomecánica del PC se usó la ACF, tomando los mismos puntos de referencia que en el material clínico. Se midió la longitud bicondilar (LB) para estimar la estatura a partir de las ecuaciones obtenidas en Trotter et al. (1952). También se midió α para realizar análisis de simetría y observar si existe dimorfismo sexual. Con el objetivo de analizar la relación entre diversas características óseas del fémur y la variable de estimación manejada en este estudio (ACF), se llevaron a cabo otras mediciones (Tabla 1). A partir de Lbio se determinaron los niveles 20%, 35%, 50%, 65% y 80% de la diáfisis, sobre los que se midió la A-P y M-L. Para la toma de

medidas se utilizó un calibre digital (0,01 mm de resolución), una tabla osteométrica convencional a la que se añadió un medidor de ángulos, y un calibre con un ámbito de medición de 70cm. Todas las medidas son expresadas en milímetros, excepto α , expresado en grados. El rango de error asumido es igual o inferior a 1 mm.

TABLA 1. Medidas tomadas para el análisis de correlación con la ACF.

Lbio	Longitud biomecánica
A-P	Anchura antero-posterior de la diáfisis
M-L	Anchura medio-lateral de la diáfisis
LMF	Longitud máxima
AmC	Anchura mínima del cuello
SAd	Anchura de la SA distal

FIGURA 4. Superficie articular distal del fémur¹.



4.2.3. *Análisis de los datos.* Se obtuvo el coeficiente de correlación de Spearman para observar las relaciones entre las variables esqueléticas. Para la estimación del PC se usaron las fórmulas generadas a partir de la muestra B. También se analizó la diferencia de medias (t de Student para muestras independientes) entre la ACF de la muestra B, utilizada en la reconstrucción de las características biológicas de la población arqueológica, y San Nicolás (C a partir de ahora), con el fin de establecer una comparación entre la población estudiada y la de referencia. Para analizar los resultados de las estimaciones se ha utilizado la media entre los laterales derecho e izquierdo cuando ambos estaban presentes. La estimación de la estatura se realizó a partir de las ecuaciones desarrolladas por Trotter et al. (1952) (Tabla 2). Finalmente, se reconstruyó el perfil del IMC de la población. Los análisis se hicieron para cada sexo por separado.

TABLA 2: Ecuaciones de regresión utilizadas para la estimación de la estatura en hombres y mujeres de la muestra C.

	Fórmula (Kg / cm)	Población de referencia	Fuente
Estatura	2,32 x LB + 65,53 (+/-3,94)	Americanos blancos (M)	Trotter et al. (1952)
	2,47 x LB + 54,10 (+/-3,72)	Americanos blancos (F)	

5. Resultados y discusión

5.1. Estudio clínico - Aplicación de las IRM a la estimación biomecánica del PC

5.1.1. *Desarrollo metodológico para el uso de muestras clínicas e IRM*

El uso de muestras clínicas implica una selección cuidadosa de los pacientes incluidos en el estudio y las IRM empleadas para la toma de medidas. Este proceso de selección ha de ser previo a la toma de datos y realización de los análisis estadísticos. En primer lugar, la existencia de un registro de PC y estatura permite determinar un rango de IMC sobre el que trabajar, evitando la introducción de valores extremos. En segundo lugar, las características óseas y del tejido adiposo de los pacientes pueden verse alteradas por las patologías asociadas a su historial médico. Por este motivo, es de gran utilidad el acceso a IRM de pacientes cuya afección principal sea la presencia de lesiones traumáticas que no afecten a la región de la cadera (como es el caso de la muestra A). Estos pacientes carecen normalmente de otro tipo de patologías, y son poco susceptibles de ver su PC alterado. Asimismo, el acceso a los informes médicos de los pacientes constituye una gran ventaja (como es el caso de la muestra B), siendo conveniente tener en cuenta los medicamentos prescritos en los mismos.

Por último, es preciso observar posibles alteraciones del tejido en las IRM, con el fin de no incluir pacientes con anomalías que afecten a las variables de interés (artrosis, artritis reumatoide u osteo-necrosis post-traumática). Atenerse a una calidad suficiente y tipo concreto de imagen es importante; las IRM abdominales y pélvicas poseen un campo de visión más alejado del plano intertrocantereo axial de las articulaciones coxofemorales, que sí es proporcionado por las IRM de cadera o extremidades inferiores. Por este motivo, es recomendable el uso de estas últimas.

5.1.2. *Descripción de las muestras*

El análisis de las características de las muestras clínicas empleadas (A y B) nos permite estudiar el comportamiento de las variables, prestando especial interés al PC (Tabla 3). El número de individuos es reducido (75 en la muestra A; 62 en la muestra B). Aún así, estudios anteriores de estas características presentan tamaños de muestra claramente menores (Lieberman et al., 2001) o similares (Ruff et al., 1991; Ruff et al., 1997), en contraste con estudios de mayor magnitud en los que las muestras alcanzan mayor tamaño (Moore, 2009). La agrupación de los pacientes en función del sexo y origen geográfico es necesaria debido a posibles diferencias en el comportamiento de las

características corporales estudiadas, en las que se ha observado un alto dimorfismo sexual y variaciones geográficas (Högler et al., 2008). La media de edad es elevada dado el carácter clínico de las muestras, compuestas principalmente por personas de edad avanzada. En la muestra A, la ACF derecha (ACF_D) presenta unas dimensiones significativamente mayores en hombres que en mujeres ($t=8,436$; $gl=35$; $p<0,0001$). En la muestra B, la estatura de los varones es similar a la media de la población española (176 cm), mientras que las mujeres están por debajo de esta (164,3cm) (Spijker et al., 2008).

TABLA 3: Características de las muestras A y B¹

Muestra A	N		Media		DE		Rango	
	M	F	M	F	M	F	M	F
Edad	36	39	47,7	50,13	15,030	15,546	19 - 73	18 - 73
PCT	36	39	81,03	68,00	11,51	10,46	64 - 110	54 - 97
GP	30	36	20,42	27,99	9,37	9,31	7 - 40,6	8,2 - 41,4
ACF_D	36	38	48,96	44,39	3,26	2,82	41,9 - 54,8	40,5 - 51,3

Muestra B	N		Media		DE		Mínimo	
	M	F	M	F	M	F	M	F
Edad	24	38	52,17	51,63	17,95	14,48	23 - 78	24 - 83
PCT	24	38	74,06	61,89	8,37	8,51	59 - 92	46 - 85
GP	20	28	22,85	28,37	8,73	8,88	5,5 - 44,26	12,7 - 53,1
Estatura	24	38	174,46	158,59	8,32	6,83	162 - 187	144 - 174
IMC	24	38	24,37	24,61	2,61	3	20,18 - 29,74	19,07 - 29,97
ACF_I	19	30	49,78	43,59	3,5	1,97	41,8 - 56,6	39,8 - 47,81
ACF_D	23	33	50,26	43,61	3,74	2,15	40,8 - 56,4	39,1 - 47,99

¹DE, desviación estándar; PCT, peso corporal total (en Kg); GP, grosor del pániculo adiposo abdominal (en mm); ACF_D, anchura supero-inferior de la cabeza del fémur derecho (en mm); ACF_I, anchura supero-inferior de la cabeza del fémur izquierdo (en mm); Estatura expresada en cm; IMC, Índice de Masa Corporal.

TABLA 4: Coeficiente de correlación de Pearson entre la edad y el PCT para describir el comportamiento de este último a través de las muestras^{1, 2}

	Edad	
	<i>Muestra A</i>	<i>Muestra B</i>
PCT (M)	-0,161	0,08
PCT (F)	0,437**	-0,065

¹PCT, peso corporal total; M, masculino; F, femenino; A, finlandesa; B, española.

²(**), correlación estadísticamente significativa.

TABLA 5: Coeficiente de correlación de Pearson entre el PCT y el P(adip.), y la ACF en hombres y mujeres de las muestras A y B^{1, 2}

	PCT		P(adip.)	
	M	F	M	F
Oulu (D)	0,281	0,406*	0,791*	0,646*
La Paz (D)	0,219	0,607*	0,321	0,839*
La Paz (I)	0,271	0,42*	0,417	0,753*

¹(D), lateral derecho; (I), lateral izquierdo; M, masculino; F, femenino.

²(*), correlación estadísticamente significativa.

5.1.3. Estimación del PC a partir de la ACF

PCT. La aplicabilidad de las IRM en la reconstrucción del PC a partir de los parámetros de la cabeza del fémur no se ha probado, para nuestro conocimiento, en ningún estudio anterior. Sí se han aplicado otras técnicas de imagen, como los rayos X (Ruff et al., 1991), mostrando resultados parcialmente similares. La Tabla 4 muestra las correlaciones entre el PCT y la edad en hombres y mujeres de las muestras A y B. Como se puede apreciar, no existe una tendencia clara debido a la alta variabilidad entre individuos; sólo las mujeres de A presentan una correlación significativa. Las correlaciones entre el PCT y la ACF se muestran en la Tabla 5. Lejos de mostrar los resultados esperados (Ruff et al., 1991), los hombres de las muestras A y B presentan una correlación no significativa entre el PCT y la ACF. En cambio, en mujeres existe una correlación lo suficientemente fuerte para inferir relaciones biomecánicas entre ambas variables, coincidiendo con los resultados obtenidos en Ruff et al. (1991). En las mujeres de la muestra B, la correlación es mayor en el lateral derecho. No observamos asimetrías entre las dimensiones del lateral derecho con respecto al lateral izquierdo de la ACF ($t = -0,609$; $gl=48$; $p < 0,546$), por lo que esta diferencia podría estar asociada a una respuesta ósea al estrés biomecánico más pronunciada en el lateral derecho. Aún así, no se ha encontrado evidencia de la existencia de asimetrías bilaterales en esta relación biomecánica bajo condiciones normales.

Las ecuaciones generadas a partir de los estimadores del PC (ACF_D y ACF izquierda, o ACF_I), nos permiten examinar la relación entre las dimensiones de la cabeza del fémur y los cambios en el PC a través de las muestras (Tabla 6). Las estimaciones del PCT tienen un EES bajo en comparación con los resultados de otros estudios que utilizan material clínico (Ruff et al., 1991), representado en la Figura 5. Este es menor para la muestra B, en la que el EES se halla en torno a los 8 Kg (Figura 5b). Cabe destacar que este ligero aumento en la precisión de las estimaciones en la muestra B podría estar relacionado con el error cometido por el observador en la primera fase del estudio, correspondiente a la muestra A. Tal hecho pone de manifiesto la importancia de valorar la experiencia del investigador y su influencia en la fiabilidad de las estimaciones.

Los hombres muestran un EES mayor que las mujeres tanto en A como en B, excepto en el lateral izquierdo de la muestra B, donde es ligeramente menor. En el estudio de

Ruff et al. (1991), las estimaciones más precisas recaen sobre la muestra masculina. La ambigüedad de estos resultados no nos permite concretar un patrón de dimorfismo sexual que indique una respuesta ósea diferencial de la cabeza femoral ante la carga mecánica. Por otro lado, no hay que obviar que se trata de material clínico y un N pequeño, lo cual puede realzar desviaciones intrínsecas a la muestra.

TABLA 6: Ecuaciones de estimación del PC a partir de la ACF¹

	<i>Est</i>	<i>Var.Est</i>	<i>Sexo</i>	<i>Ecuaciones</i>	
				Intercepto	Pendiente
Oulu	ACF_D	PCT	M	32,287	0,995
			F	1,265	1,503
		Padip	M	43,224	0,776
			F	3,29	1,442
Madrid	ACF_D	PCT	M	49,602	0,493
			F	-47,75	2,509
		Padip	M	33,9	0,794
			F	-51.342	2,617
	ACF_I	PCT	M	46,007	0,592
			F	-19,043	1,847
		Padip	M	33,595	0,845
			F	-18,987	1,873

¹Est., variable estimadora; Var.Est., variable estimada; ACF_D/I, anchura supero-inferior de la cabeza femoral derecha/izquierda; PCT, peso corporal total; P(adip.), peso estandarizado para el tejido adiposo.

FIGURA 5a: EES para las estimaciones de PCT y P(adip.) de la muestra A^{1, 2}

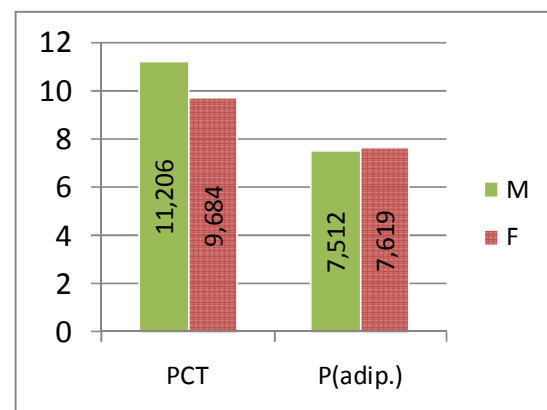
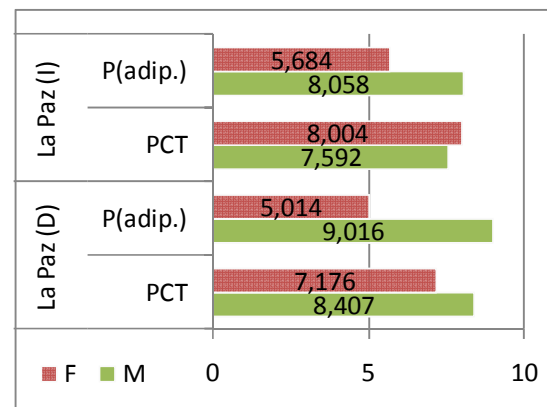


FIGURA 5b: EES para las estimaciones de PCT y Padip de la muestra B^{1, 2}



¹(D), derecho; (I), izquierdo; PCT, peso corporal total; P(adip.), peso corporal estandarizado para el tejido adiposo; M, masculino; F, femenino.

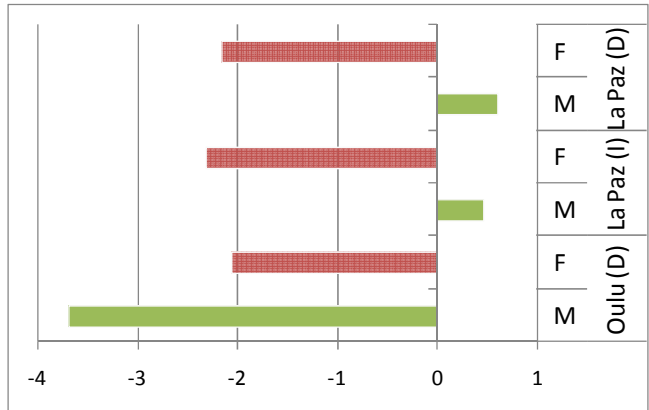
²Etiquetas, error estándar de estimación (EES).

P(adip.). La relación entre el PC y la ACF mejora claramente cuando se estandariza el PC para el tejido adiposo. Como se puede apreciar en las Figuras 5a y 5b, el P(adip.) proporciona mejores estimaciones que cuando se estima el PCT, excepto en los hombres de la muestra B en ambos laterales (Figura 5b). El EES del P(adip.) es de

aproximadamente 8 kg en la muestra A, e inferior a 6 kg en las mujeres de la muestra B (laterales derecho e izquierdo). Es en estos grupos (ambos sexos de la muestra A, y mujeres de la muestra B) donde se obtenían las mejores correlaciones entre la ACF y el P(adip.) (Tabla 5). Como es de esperar, vuelve a reflejarse una correlación más alta en el lateral derecho en mujeres españolas, coincidiendo con los resultados anteriores para el PCT. En la Figura 6 se observa la diferencia entre ambas estimaciones; PCT y P(adip.). En el grupo masculino el EES aumenta con respecto al PCT sin estandarizar. La disminución del EES es de en torno a 2 kg en mujeres de A y B, y de más de 3 kg en hombres de la muestra A. Estos resultados indican una mayor fiabilidad en la estimación del P(adip.), lo cual pone de manifiesto las ventajas que supone el uso de IRM, aportando información acerca de los tejidos blandos.

La toma de medidas sobre el pániculo adiposo abdominal puede suponer cierta desviación en los resultados, ya que obviamos el dimorfismo sexual que existe en la distribución del tejido adiposo, que en hombres se circunscribe preferentemente a la región abdominal (Saez, 2005). Por ello, es recomendable buscar medidas que representen lo mejor posible la cantidad de tejido adiposo corporal a partir de las IRM.

FIGURA 6: diferencia del EES del P(adip.) con respecto al PCT¹

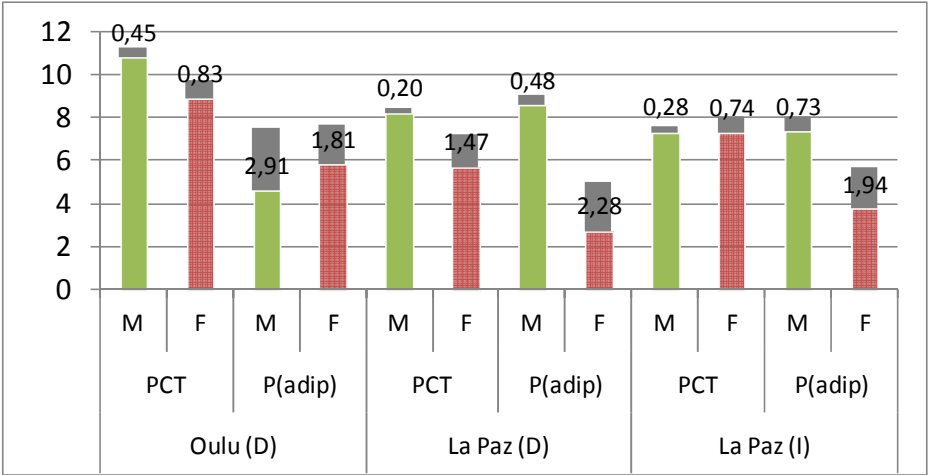


¹ (D), lateral derecho; (I), lateral izquierdo; M(verde), masculino; F(rojo), femenino.

Análisis del error en las estimaciones. En la Figura 7 se representa la influencia del PCT y el P(adip.) en la desviación de las estimaciones; es decir, la parte del EES explicada por los fenómenos asociados a la variable bajo estudio en hombres y mujeres. Esta influencia se compara frente a aquella representada por factores que no hemos analizado (representada en gris). En ambos sexos de la muestra A, se observa que la mayor parte del EES se debe al comportamiento del PCT, y que existe un pequeño porcentaje asociado a otros factores. Cuando se estima el P(adip.) aumenta la influencia relativa de dichos factores, y se reduce la del EES asociado a la variable estimada. Lo

mismo ocurre en el caso de las mujeres de la muestra B. Sin embargo, los hombres de B no presentan una reducción importante del EES asociado a la dinámica del PC al estandarizarlo para el tejido adiposo.

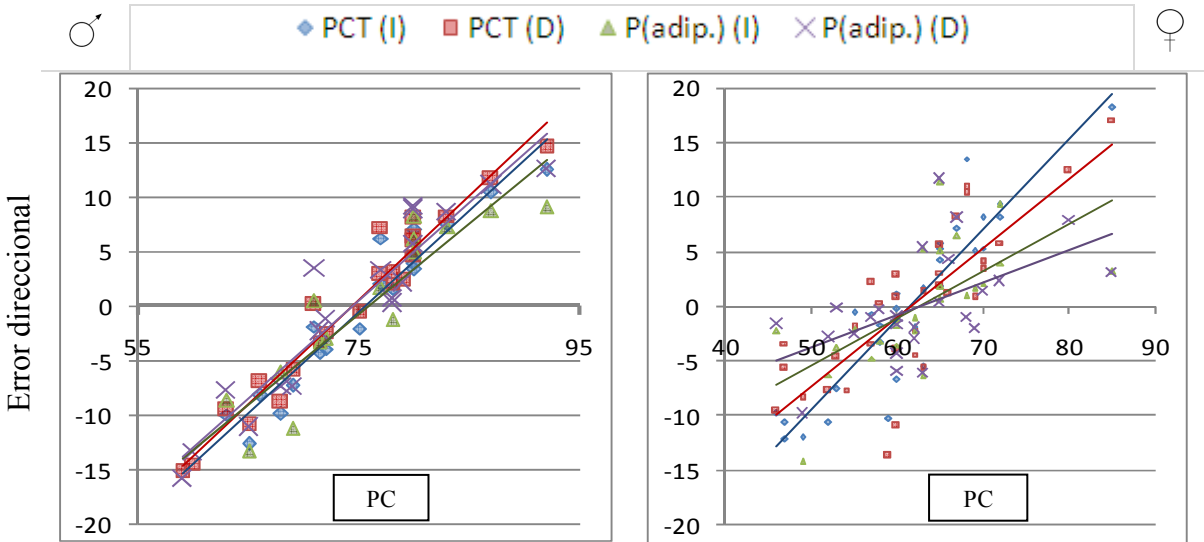
FIGURA 7: representación de la influencia del PCT y el P(adip.) sobre el EES frente al representado por otros factores^{1, 2}



¹ (D), lateral derecho; (I), lateral izquierdo; PCT, peso corporal total; P(adip.), peso corporal estandarizado para el tejido adiposo; M(verde), masculino; F(rojo), femenino.

²Etiquetas (gris), valor del error estándar de estimación (EES) explicado por variables distintas al PC.

FIGURA 8: Dispersión los residuos frente al PC y el P(adip.) en hombres y mujeres¹.



¹PCT(I), peso corporal total estimado a partir de la cabeza femoral izquierda; PCT(D), peso corporal total estimado a partir de la cabeza femoral derecha; P(adip.) (I), peso corporal estandarizado estimado a partir de la cabeza femoral izquierda; P(adip.) (D), peso corporal estandarizado estimado a partir de la cabeza femoral derecha.

La Figura 8 representa la dispersión de los residuos con respecto al PC y el P(adip.) de la muestra B, tanto en hombres (izquierda) como en mujeres (derecha). En las mujeres se puede apreciar que la pendiente entre los residuos y el PCT es más pronunciada que entre estos y el P(adip.). Por el contrario, los hombres muestran pendientes muy parecidas en el caso de ambas variables. Exceptuando a los hombres de B, estos resultados indican que la dinámica del PC introduce menos errores en las estimaciones cuando controlamos los efectos del tejido adiposo a través de las muestras. Como se mencionó en la introducción, el tejido adiposo varía enormemente a lo largo de la vida de los individuos (Hughes et al., 2002).

¿Qué ocurre en el grupo masculino? A través del análisis de los resultados se observa un comportamiento diferente en el grupo masculino, tanto en las correlaciones de la variable dependiente (PC) con la variable estimadora (ACF), como en el EES del P(adip.) en hombres de la muestra B. Existen varios factores que pueden ser responsables de estas diferencias; en primer lugar, habría que considerar desviaciones de la muestra que atañen al PC, provocadas por variables como la edad. La metodología seguida para la toma de medidas sobre las IRM podría no ser representativa de la cantidad de tejido adiposo a nivel corporal en el grupo masculino. También debemos atender a la posible influencia de ciertas patologías dada la procedencia de esta muestra clínica. No se debe obviar el hecho de que contamos con un tamaño de muestra reducido que se ajusta a las características de un estudio preliminar para realizar una valoración inicial del uso de esta técnica.

5.2. Estudio osteoarqueológico - Reconstrucción del perfil de IMC de una población arqueológica

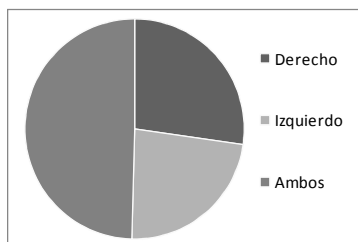
5.2.1. Descripción de la muestra

La muestra C aportó 121 individuos adultos con fémures completos a partir de los que se tomaron todas las medidas representadas en las Figuras 3 y 4. Los análisis paleodemográficos realizados sobre la misma (Robles et al, 1996) proporcionaron datos del sexo en un 86,78% de los individuos (n=105), y de la edad en un 36,37% (n=44), mientras que en el resto de individuos la determinación no había sido posible debido a las condiciones de preservación (Figura 9a). Esto afecta al tamaño de la muestra en tanto que la separamos en función del sexo, conservando un máximo de 48 individuos masculinos y 24 femeninos (Figura 9b; Tabla 7) según la variable considerada. Los

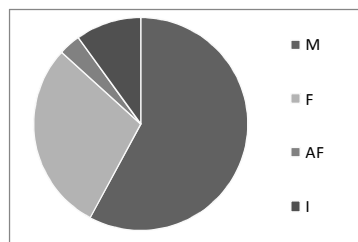
adultos jóvenes y maduros son los grupos de edad mejor representados después del de los adultos indeterminados (Figura 9c). El uso de esta muestra es de interés para la aplicación de fórmulas de estimación del PC y la estatura (Tabla 2) generadas a partir de poblaciones de referencia lo más adecuadas posible a sus características esqueléticas.

FIGURA 9: Gráficos de sectores representando el lateral presente, sexo y grupo de edad de los individuos analizados^{1, 2}

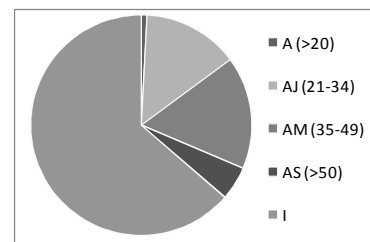
a) Laterales conservados



b) Sexo



c) Edad



¹M, masculino; F, femenino; AF, alofiso; I, indeterminado; A, adulto; AJ, adulto joven; AM, adulto maduro; AS, adulto senil.

²Los números entre paréntesis indican el rango aproximado de edad en años.

TABLA 7. Características de la muestra C¹

San Nicolás	N		Media		DE		Rango	
	M	F	M	F	M	F	M	F
ACF_D	48	22	46,41	40,74	1,98	2,04	42 – 52	38 – 44
ACF_I	43	19	46,18	40,73	2,13	2,02	41,64 – 52,6	37,8 – 45,67
LB_D	43	24	442,14	407,04	20,39	17,04	375 – 489	376 – 444
LB_I	47	19	443,41	407,68	19,8	20,16	373,5 – 483	361 – 451
α _D	41	24	3,21	5,79	8	6,88	-13 - 13	-12 - 13
α _I	46	18	8,08	10,94	3,93	2,33	-10 - 14	6 - 14

¹DE, desviación estándar; ACF_D/I, anchura supero-inferior de la cabeza femoral derecha/izquierda; LB_D/I, longitud bicondilar del fémur derecho/izquierdo; α _D/I, ángulo oblicuo de la diáfisis femoral derecho/izquierdo.

TABLA 8: Coeficiente de correlación de Spearman entre la ACF y el resto de variables esqueléticas en hombres y mujeres de la muestra C^{1, 2}

	ACF (D)		ACF (I)	
	M	F	M	F
LMF	0,388*	0,672**	0,643**	0,704**
AmC	0,651**	0,666**	0,509*	0,872**
SAd	0,624	0,891**	0,568*	0,933**

¹(D), lateral derecho; (I), lateral izquierdo; M, masculino; F, femenino.

²(*), correlación estadísticamente significativa.

El análisis de correlación para las variables esqueléticas (Tabla 1; Figura 3) indica una relación significativa entre la LMF, la AmC y la SAd con la ACF en ambos sexos, excepto la SAd del lateral derecho en hombres (Tabla 8). Ante estos resultados, sería interesante observar si existe una mejora de las estimaciones introduciendo dichas variables en las

ecuaciones de regresión. Las secciones transversales de la diáfisis no muestran un patrón fijo de correlación con ninguna de las variables anteriormente citadas. Esto es debido a que la diáfisis está altamente comprometida con el nivel de actividad física a lo largo de la vida (Ruff et al., 1991).

5.2.2. Determinación del sexo a partir de α

Los análisis realizados sobre la muestra C, para la que se tomaron medias de ambos laterales (Tabla 7), permiten establecer diferencias significativas entre individuos masculinos y femeninos sólo a partir del lateral izquierdo ($t=2,893$; $gl=62$; $p<0,0001$). A partir de la diáfisis derecha no se observaron diferencias significativas ($t=1,321$ $gl=63$; $p<0,0001$). Esta diferencia podría deberse a la variabilidad entre individuos. Sin embargo, la razón más lógica es que contamos con un N pequeño y no representativo de la variabilidad de α existente entre hombres y mujeres. La metodología empleada en la toma de medidas también puede haber influido en los resultados, ya que en otros estudios se ha comprobado que existe un claro dimorfismo sexual en las características angulares de las extremidades superiores e inferiores, siendo las mujeres quienes presentan un fémur más oblicuo debido al mayor diámetro transversal de la pelvis y menor longitud del fémur (Gualdi-Russo, 1998). Dada la incongruencia hallada entre ambos laterales de la diáfisis, optamos por utilizar los datos de la variable “sexo” proporcionados por estudios anteriores sobre esta población (Robles et al., 1997).

5.2.3. Cálculo del IMC y reconstrucción de su perfil poblacional

Estimamos el PC utilizando la muestra B como referencia ya que esta es la más cercana geográficamente a la población bajo estudio. La fórmula de regresión empleada es la del P(adip.) porque proporciona estimaciones más precisas en las mujeres. El cálculo se realiza a partir de la media de la ACF de ambos laterales. El análisis t de Student para muestras independientes revela una diferencia significativa de las dimensiones de la ACF entre las mujeres de las muestras B y C, poniendo de manifiesto que en B son mayores tanto en el lateral derecho ($t=4,495$; $gl=65$; $p<0,0001$) como en el izquierdo ($t=4,906$; $gl=47$; $p<0,0001$). En el grupo masculino no se asume igualdad de varianzas, aunque la media para ambos laterales de la ACF es mayor en la muestra B (Tablas 3 y 7). A pesar de que nuestro enfoque se reduce a un solo elemento óseo e interpreta un proceso biológico a partir de una única variable, estos resultados advierten de un probable aumento de las dimensiones de la cabeza femoral en las poblaciones actuales

con respecto a las de siglos anteriores. Esto se debería al cambio secular en las proporciones corporales de la población española. Las muestras B y C son geográficamente cercanas pero están separadas por un amplio lapso temporal (siglo XV y siglo XXI, respectivamente).

TABLA 9. Presentación de los valores para el Índice de Masa Corporal de la población arqueológica de San Nicolás¹

<i>IMC (kg/m²)</i>	<i>N</i>	<i>Media</i>	<i>DE</i>	<i>Rango</i>
Hombres	57	25,48	1,26	23,12 – 30,25
Mujeres	24	23.74	1,43	20,71 – 26,77

Como se predijo a partir del análisis de las características de la muestra B, la media de PC se ve desplazada hacia valores cercanos al límite superior de normopeso (Tabla 9), y una gran parte de los individuos se

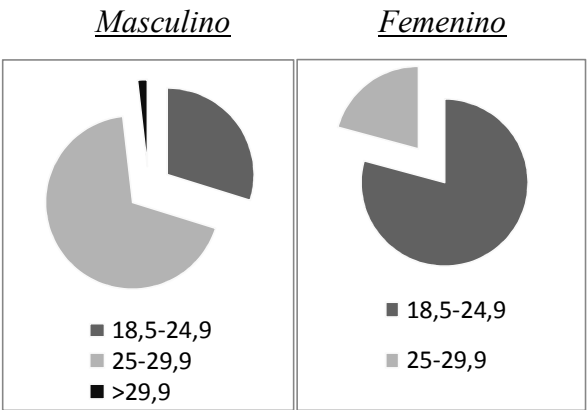
encuentra en la categoría de sobrepeso. Sólo un individuo masculino presenta un IMC indicativo de obesidad. El grupo masculino muestra un elevado porcentaje de individuos con sobrepeso (68,4%), y sólo un 29,8% de individuos en normopeso. En cambio, el grupo femenino muestra valores de normopeso para la mayoría de los individuos (79,2%) (Figuras 11 y 12). El perfil del IMC de la población arqueológica de San Nicolás se presenta en la Figura 13 para ambos sexos.

Estos resultados se verán sin duda afectados por la tendencia de la población utilizada como referencia (B), con alta prevalencia al sobrepeso según la OMS (WHO, Metabolic Risk Factors), y procedente de una muestra clínica de pacientes de edad media avanzada. Sin embargo, entran en conflicto con las observaciones llevadas a cabo en la población de San Nicolás, que muestra signos de malnutrición (Robles et al., 1996).

Por otra parte, las características biológicas de la población de referencia no constituyen el único factor responsable de la posible desviación en el IMC de C. La plasticidad de la cabeza femoral determinará el rango de variación de este elemento óseo, y por tanto, los límites a partir de los cuales el PC no tendrá efectos significativos sobre sus dimensiones. Este cambio de dimensión relativa entre la ACF y el PC en los límites de la distribución de este último, indicaría un punto a partir del cuál la ACF deja de crecer aunque el PC siga aumentando durante el desarrollo previo a la madurez sexual. La explicación biológica a este hecho podría ser la constricción que representa la articulación coxofemoral. Igualmente, ha de existir un diámetro mínimo de la cabeza femoral, que en este caso estaría relacionado con las exigencias biomecánicas de la

articulación para llevar a cabo su función básica, el soporte del PC. Fuera de este rango, los procesos de enfermedad se reflejarían en el hueso a través de otros fenómenos.

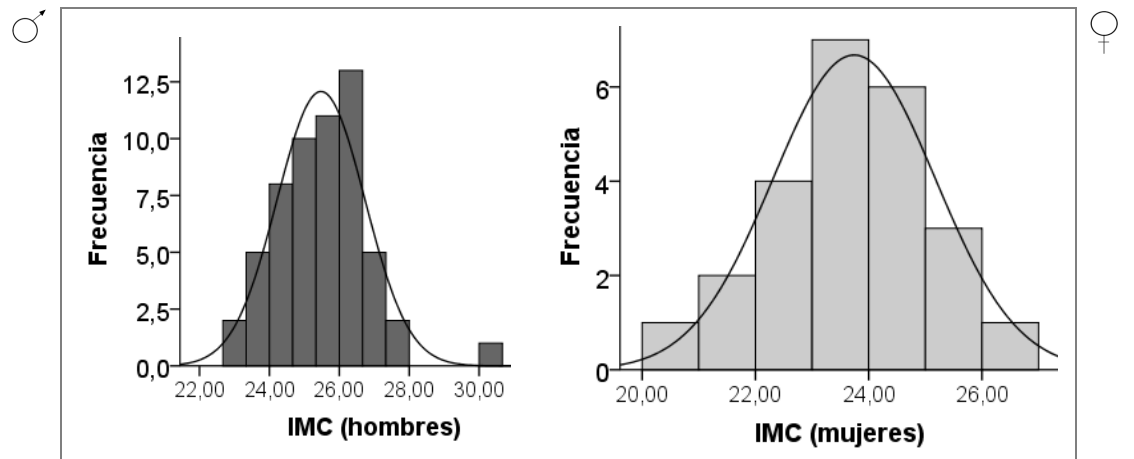
FIGURAS 11 y 12. Gráficos circulares mostrando el porcentaje de individuos representativo de cada categoría de IMC.



¹(18,5-24,9), normopeso; (25-29,9), sobrepeso; (>29,9), obesidad.

Por este motivo, una de las preguntas que nos hacemos de cara a posteriores estudios, y que quedan fuera del marco establecido en este trabajo, sería hasta qué punto se ve afectada la ACF por las fuerzas mecánicas de soporte del peso, y en qué momento deja de estarlo por las limitaciones biomecánicas y morfológicas impuestas a la articulación, así como la relación entre el retraso en el crecimiento de la ACF y la aparición de otros fenómenos patológicos.

FIGURA 13. Histograma de frecuencias para el IMC en hombres y mujeres.



Por último, no debemos olvidar que nuestra metodología de estimación del PC emplea como variable dependiente un elemento óseo que queda fijo al alcanzar la madurez ósea, en torno a los 18 años. Por consiguiente, la reconstrucción del IMC se acercará más a los valores de IMC correspondientes a los individuos en su etapa de adultos jóvenes. Los marcadores patológicos presentes en los individuos de edades más

avanzadas pueden estar indicando la aparición de enfermedades asociadas a la desnutrición en un periodo posterior de su vida adulta.

6. Conclusiones y perspectivas futuras

(i) Las IRM son una herramienta de gran utilidad en la estimación del PC: las ventajas que supone pueden ser aprovechadas dado que muestran correlaciones entre el PC y la ACF similares a otros estudios en el caso de las mujeres de nuestras muestras clínicas. Al contrario de lo esperado, esta relación no es significativa en hombres. Sin embargo, las estimaciones obtenidas son más precisas que en Ruff et al. (1991) en ambos sexos.

(ii) La estandarización del PC para el tejido adiposo mejora las estimaciones del PC. El EES está asociado principalmente a la dinámica del PC a través de la muestra. Tanto en mujeres de ambas muestras clínicas como en hombres finlandeses queda reducido, al tiempo que el error introducido por otros factores aumenta su representación. Esto refleja el potencial de las IRM en la mejora de la reconstrucción del PC por ser una técnica accesible que permite tomar medidas del tejido blando.

(iii) El perfil de IMC de San Nicolás muestra valores con tendencia al sobrepeso en hombres, y normopeso y sobrepeso en mujeres. Estos resultados están influidos por la tendencia al sobrepeso de la población española actual, utilizada como referencia, entre otros factores posibles.

(iv) Ante los resultados obtenidos, es recomendable impulsar el aprovechamiento de las IRM para alcanzar tamaños de muestra representativos procedentes de población española, preferiblemente sin problemas clínicos que afecten a los análisis, y con datos del tejido adiposo para reducir el error de estimación producido por la alta variabilidad poblacional de este parámetro.

(v) El escaso número de individuos de nuestra muestra no permite encontrar diferencias significativas entre el ángulo oblicuo de la diáfisis de hombres y mujeres.

(vi) En investigaciones futuras, sería conveniente realizar un estudio comparativo con diferentes poblaciones arqueológicas, de modo que pudiesen establecerse diferencias entre la distribución de los correspondientes perfiles de IMC y las características paleopatológicas (frecuencia de aparición de los indicadores) en cada una de ellas. En un análisis más exhaustivo, sería interesante comparar el IMC de individuos concretos con y sin indicadores patológicos para observar la influencia de la aparición de estos últimos.

7. Bibliografia

- Auerbach BM, Ruff CB. Human body mass estimation: a comparison of “morphometric” and “mechanical” methods. *American Journal of Physical Anthropology* 2004; 125: 331-342
- De Groote I, Humphrey LT. Body mass and stature estimation based on the first metatarsal in humans. *American Journal of Physical Anthropology* 2011; 144(4): 625-632.
- Fully G, Pineau H. New method of determination of the height. *Annales de Médecine Légale, Criminologie, Police Scientifique et Toxicologie* 1956; 36(5): 266-273.
- Gilroy AM, MacPherson BR, Ross LM, Schuenke M, Schulte E, Schumacher U. *Atlas of Anatomy*. Thieme; 2008.
- Grine FE, Jungers WL, Tobias P, Pearson OM. Fossil Homo femur from Berg Aukas, Northern Namibia. *American Journal of Physical Anthropology* 1995; 97: 151-185.
- Geraghty EM, Boone JM. Determination of height, weight, Body Mass Index, and body surface area with a single abdominal CT image. *Radiology* 2003; 228: 857-863.
- Gualdi-Russo E. Study on long bones: variation in angular traits with sex, age and laterality. *Anthropologischer Anzeiger* 1998; 56(4): 289-299.
- Högler W, Blimkie CJ, Cowell CT, Inglis D, Rauch F, Kemp AF, et al. Sex-specific developmental changes in muscle size and bone geometry at the femoral shaft. *Bone* 2008; 42(5): 982-989.
- Hughes VA, Frontera WR, Roubenorr R, Evans WJ, Singh MA. Longitudinal changes in body composition in older men and women: role of body weight change and physical activity. *The American Journal of Clinical Nutrition* 2002; 76(2): 473-481.
- Janssen I, Heymsfield SB, Wang ZM, Ross R. Skeletal muscle mass and distribution in 468 men and women aged 18-88 yr. *Journal of Applied Physiology* 2000; 89(1): 81-88.
- Lieberman DE, Devlin MJ, Pearson OM. Articular area responses to mechanical loading: effects of exercise, age, and skeletal location. *American Journal of Physical Anthropology* 2001; 116: 266-277.
- Lundy JK. The mathematical versus anatomical methods of stature estimate from long bones. *American Journal of Forensic Medicine and Pathology* 1985; 6(1): 73-76.
- Martin R, Saller K. *Lehrbuch der Anthropologie in Systematischer Darstellung*. Band I, 3. Ed. Stuttgart, Fischer; 1957.

- McHenry HM. Body size and proportions in early Hominids. *American Journal of Physical Anthropology* 1992; 87: 407-431.
- Moore MK. Body mass estimation from the human skeleton. [Tesis doctoral]. Tennessee: University of Tennessee; 2008.
- Organización Mundial de la Salud. Obesidad y sobrepeso. Mzo. 2011; 301. Disponible en: URL: <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs311/es/index.html>. Acceso el 20 de julio de 2011.
- Pearson OM, Lieberman DE. The aging of Wolff's "law": ontogeny and responses to mechanical loading in cortical bone. *American Journal of Physical Anthropology* 2004; 39: 63-99.
- Robles FJ, González A, García C. Indicadores de estrés en la población hispanomusulmana de San Nicolás (Murcia, s. XI a XIII). En: Pérez Pérez A, Editor. Salud, enfermedad y muerte en el pasado. Consecuencias biológicas del estrés y la patología. 1 ed. Barcelona: Fundación Uriach; 1996. p. 109-119.
- Robles FJ. Características biológicas de la población hispanomusulmana de San Nicolás (Murcia. s. XI-XIII). Estudio de los huesos largos. [Tesis doctoral]. Madrid: Universidad Autónoma de Madrid; 1997.
- Ruff CB, Scott WW, Liu AYC. Articular and diaphyseal remodelling of the proximal femur with changes in body mass in adults. *American Journal of Physical Anthropology* 1991; 86: 397-413.
- Ruff CB, Walker A, Trinkaus E. Postcranial robusticity in Homo. III: Ontogeny. *American Journal of Physical Anthropology* 1994; 93(1): 35-54.
- Ruff CB, Trinkaus E, Holliday TW. Body mass and encephalization in Pleistocene Homo. *Nature* 1997; 387: 173-176.
- Ruff CB. Body mass prediction from skeletal frame size in elite athletes. *American Journal of Physical Anthropology* 2000; 113: 507-517.
- Ruff CB, Niskanen M, Junno JA, Jamison P. Body mass prediction from stature and bi-iliac breadth in two high latitude populations, with application to earlier higher latitude humans. *Journal of Human Evolution* 2005; 48(4): 381-392.
- Ruff CB. Who's afraid of the big bad Wolff? "Wolff's law" and bone functional adaptation. *American Journal of Physical Anthropology* 2006; 129(4): 484-498.
- Saez PM. El rol de la distribución del tejido adiposo en la elección de las zonas anatómicas contempladas para la medición de los pliegues cutáneos. *PubliCE Standard*. Dic. 2005; 561. Disponible en: URL:

<http://www.sobreentrenamiento.com/public/Articulo.asp?ida=561>. Acceso el 26 de julio de 2011.

- Spijker J, Pérez Díaz J, Cámara Hueso AD. Cambios generacionales de la estatura en la España del siglo XX a partir de la Encuesta Nacional de Salud. Estadística española 2008; 50: 571-604.
- Steel G. Estimation of stature from fragments of long limb bones. En: T.D. Stewart, Editor. Personal identification in mass disasters. 1 ed. Washington DC: Smithsonian Institution Press; 1970. p. 85-97.
- Stevenson P. On racial differences in stature long bone regression formulae, with special reference to stature reconstruction formulae for the Chinese. Biometrika 1929; 21(1): 303-318.
- Stoller D, Tirman P, Bredella M, Branstetter R, Blease S, Beltran S, et al. Diagnostic Imaging: Orthopaedics. Philadelphia; Elsevier; 2004.
- Tardieu C, Damsin JP. Evolution of the angle of obliquity of the femoral diaphysis during growth – Correlations. Surgical and Radiologic Anatomy 1997; 19: 91-97.
- Trotter M, Gleser GC. Estimation of stature from long bones of American Whites and Negroes. American Journal of Physical Anthropology 1952; 10: 463-514.
- Trotter M, Gleser GC. A re-evaluation of estimation of stature based on measurements of stature taken during life and of long bones after death. American Journal of Physical Anthropology 1958; 16: 79-123.
- World Health Organization. Metabolic risk factors. Overweight and obesity. Disponible en: URL: <https://apps.who.int/infobase/CountryProfiles.aspx>. Acceso el 26 de julio de 2011.

Agradecimientos

Gracias a Armando González y a Carmen Martín por los buenos consejos y el apoyo recibido. En especial, gracias a Milton Núñez, a Sirpa Niinimäki y a Juho-Antti Junno por compartir la ilusión y las ganas de sacar este trabajo hacia delante, por los buenos recuerdos y por todo lo que me han enseñado. A Stiva Bernabeu, por iluminar siempre el siguiente paso y hacerme creer que “sí se puede”. Y a mi familia, que nunca falla. ¡Un millón de gracias!